

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:

«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВОГО САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ ПОРОШКОВОГО НАПЛАВОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЫСОКИМ СИЛОВЫМ И УДАРНЫМ НАГРУЗКАМ»,

представленной на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых
материалов»

Капсаламовой Фариды Ришадкызы

Целью диссертационной работы является физико-химическое обоснование получения самофлюсующегося порошкового наплавочного материала на основе железа методом механоактивации.

Задачи исследования.

Для достижения цели исследования решались следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование возможности и перспектив процесса механоактивации порошковой композиции на железной основе для получения наплавочного сплава.

2. Термодинамический расчет физико-химических превращений в сплаве 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C для обоснования состава.

3. Выбор оптимальных технологических параметров процесса механоактивации для получения самофлюсующегося порошкового наплавочного сплава на основе железа для газопламенной наплавки.

4. Изучение структурных и фазовых превращений в наплавочном сплаве 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C, протекающих при механоактивации.

5. Исследование физико-химических особенностей и механических свойств покрытия, полученного методом газопламенной наплавки.

6. Разработка технологии получения износостойкого покрытия из самофлюсующегося наплавочного сплава для газопламенной наплавки, показывающая возможность применения метода механоактивации.

Методы исследования.

В работе исследований использованы следующие типы приборов и анализаторов:

- термодинамическое моделирование фазовых превращений проводили с помощью компьютерного расчета характерных политеплических разрезов фазовой диаграммы сплава с помощью программного комплекса Thermo-Calc (версия TCW5), основанного на численном моделировании равновесия фаз методом CALPHAD и использованием базы данных TTFе - Thermotech Fe-based Alloys Database;

- для механоактивации порошковой смеси использовали планетарную мельницу МПП-2-1К; конгломерирование осуществляли в высокотемпературной камерной печи модели LH15/12 (Nabertherm); газопламенную наплавку проводили пропано-кислородной горелкой в один проход;

- пробоподготовка проводилась при помощи нарезной машины Secotom-50, настольного шлифовально-полировального станка Tegramin-25/-30;

- рентгенофазовый анализ осуществлен на дифрактометре D8 ADVANCE «Bruker Elemental GmbH» на медном излучении при ускоряющем напряжении 36 кВ, токе 25 mA с использованием программы поиска фаз DIFFRAC plus SEARCH;

- исследование структуры, распределения частиц и картирование элементного и фазового состава образцов после механоактивации и наплавленного покрытия проведен на электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL (Япония) при ускоряющем напряжении 25 кВ и токе электронного пучка до 100 nA;

- термический анализ наплавочного порошка проведен с использованием синхронного термического анализатора ТГ-ДТА/ДСК с квадрупольным масс-спектрометром: STA 449 F3 Jupiter® «NETZSCH» (Германия);

- металлографический анализ образцов покрытий, полученных газопламенной наплавкой, выполнен с использованием оптического микроскопа НЕОРНОТ – 32;

- измерения механических свойств проводились с использованием твердомера ПМТ-3, машины 2070 СМТ-1 на определение износа.

Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:

На защиту диссертационной работы выносятся следующие положения:

- Результаты термодинамических расчетов фазовых превращений в сплаве Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C с обоснованием состава.

- Данные о физико-химических превращениях в сплаве 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C при различных режимах механоактивации.

- Результаты экспериментального и теоретического рассмотрения влияния условий обработки шихты в планетарной мельнице на формирование структуры и физико-химических свойств.

- Физико-химические свойства износостойкого покрытия, полученного газопламенным напылением наплавочного сплава на основе железа.

- Технологическая схема изготовления самофлюсующегося наплавочного сплава методом механоактивации для газопламенной наплавки.

Описание основных результатов исследования.

1 Рассчитаны политермические разрезы на фазовой диаграмме системы 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C для определения критической температуры фазового превращения в сплаве и обоснования химического

состава образующихся при этом фаз (α , β , β_2 , γ , γ_2 , L). Построена кривая кристаллизации сплава. Результаты термодинамического моделирования показывают, что микроструктура наплавочного сплава усложняется, а фазовый состав меняется по мере их сплавления. Политермический разрез дал обоснование выбора состава, в котором все компоненты полностью растворяются в жидкой фазе при ~ 1400 °С. Температурно-зависимый характер кристаллизации расплава показал, что неравновесная кристаллизация расплава перешла в равновесную фазу при 950 °С, что свидетельствует о мелкозернистой структуре покрытия.

2 Установлены оптимальные время – 20 мин и доза энергии – не менее 150-170 КДж/г, процесса механоактивации, при котором размер частиц порошковой смеси составляет ~ 10 -160 мкм и элементы в объеме порошковой композиции распределены равномерно. Для укрупнения размера частиц до 60-140 мкм предложено применение метода конгломерирования с использованием в качестве связующего вещества - 5% жидкое стекло.

3 Установлены общие закономерности формирования фазового состава, структуры сплава 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C при механоактивации. При изучении фазовых превращений в порошковой композиции, определили, что после 1 мин механоактивации образуются многочисленные новые фазы и к 20 мин сплав получается многофазным, включающим промежуточные фазы, интерметаллиды, карбиды, бориды. Термогравиметрический анализ наплавочного порошка 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C подтвердил результаты термодинамического моделирования: температура ванны горелки обеспечивает полное расплавление композиции, которая составляет ~ 1400 °С.

4 Установлены общие закономерности морфологических изменений сплава 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C при механоактивации. Изучение гранулометрического состава в зависимости от продолжительности механоактивации в интервале времени 1-20 мин позволило установить оптимальное время процесса – 20 мин, при котором размер частиц составляет ~ 10 -160 мкм. Результаты исследования распределения элементов в объеме порошковой смеси в зависимости от продолжительности механоактивации подтвердили выбранное оптимальное время процесса, т.к. в течение 20 мин все элементы распределены по объему порошковой смеси в полной мере равномерно.

5 Установлены общие закономерности формирования структуры и механических свойств покрытия, полученного газопламенной наплавкой. С помощью металлографического и микроскопического анализов определена феррито-мартенситная с включениями ледебурита мелкозернистая структура покрытия. *map*-картирование установило, что распределение элементов по объему покрытия и границы наплавки с подложкой равномерное. Результаты исследований механических свойств покрытия установили значение предела прочности на отрыв, составляющее 50,66 МПа и твердость - 546,96 НВ..

6 Разработана технологическая схема получения износостойкого покрытия из самофлюсующегося наплавочного порошкового материала

40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C, показывающая возможность применения метода механического легирования при получении наплавочных материалов для газопламенной наплавки.

Обоснование новизны и важности полученных результатов.

1) Создан новый самофлюсующийся порошковый наплавочный материал на основе железа.

2) Теоретически обоснованы возможности и перспективы механоактивации порошковой композиции на железной основе для получения наплавочного материала.

3) Оптимизированы технологические параметры процесса механоактивации для получения нового самофлюсующего порошкового наплавочного материала для газопламенной наплавки.

4) Выбраны методы исследований и анализа получаемых продуктов.

5) Изучены структурные и фазовые превращения в порошковой композиции, протекающие при механоактивации.

6) Исследованы структурные особенности и механические свойства покрытия, полученного методом газопламенной наплавки.

7) Разработана технологическая схема получения износостойкого покрытия из самофлюсующегося наплавочного порошкового сплава 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C, показывающая возможность применения метода механоактивации при получении наплавочных материалов для газопламенной наплавки.

Совокупность результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований будет способствовать разработке новых перспективных наплавочных сплавов на основе железа, обладающих высоким уровнем эксплуатационных характеристик и предназначенных для применения в ремонтном производстве машиностроительной отрасли. Полученный наплавочный сплав 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C прошел опытно-экспериментальное апробирование и подтверждается актом о проведении экспериментальных испытаний результатов научно-исследовательской работы. Показано, что использование нового износостойкого наплавочного порошкового сплава обеспечивает пробег грузового вагона на два и более плановых ремонта. Это указывает на годность разработанного наплавочного порошкового материала на основе железа для ремонта деталей железнодорожного транспорта, в частности автосцепных устройств, методом газопламенной наплавки.

Проведенные исследования в области поставленных задач обеспечивают получение нового самофлюсующегося наплавочного порошкового сплава 40%Fe-30%Ni-16%Cr-5%Cu-5%Si-3%B-1%C для газотермического напыления. Разработанный технологический процесс, позволяющий применять механоактивацию, имеет экономическое преимущество перед существующими технологиями на базе традиционного металлургического

способа. Разработанный новый состав порошка и использованный способ механоактивации позволяет получать в дальнейшем износостойкое покрытие с твердостью 546,96 HV, которое имеет высокий потенциал применимости.

Результаты исследования обладают новизной, практической ценностью, значительно дополняют существующие представления о механизме механоактивации многокомпонентных порошков и могут быть использованы для решения подобных задач. Проведенный обзор научно-технической литературы позволяют сделать вывод о том, что работа соответствует современному научно-техническому уровню. Основные результаты исследований опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ККСОН, а также статья в журнале с ненулевым импакт-фактором (входящем в базу данных Scopus).

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам. Диссертационная работа выполнена в лаборатории «Перспективные материалы и технологии» АО «Казахстанско-Британский технический университет», в рамках программы «Целевое развитие университетской науки, ориентированной на инновационный результат» на 2012-2014 гг. по теме «Разработка нового сплава для реабилитации ответственных узлов и деталей подвижного состава железных дорог», финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан.

Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач работы, проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов, формулировании выводов, написании статей и тезисов докладов.

Материалы диссертационной работы опубликованы в 11 научных публикациях, включая рейтинговые международные (3) и казахстанские научные журналы (3), рекомендованные Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования, а также в материалах международных конференций (5):

Статьи с высоким импакт-фактором по базе данных Thomson Reuters или в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:

1. F.R. Kapsalamova, B.K. Kenzhaliyev, V.I.G. Mironov, S.A. Krasikov. Structural and Phase Transformations in Wear Resistant Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C Coatings // Journal of the Balkan Tribological Association. – 2019. – Vol. 25, No 1. – P. 95-103.

2. F.R. Kapsalamova, S.A. Krasikov, V.V. Zhuravlev. Phase Transformations in a Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C Composition during Mechanochemical Alloying // Russian Metallurgy (Metally). - Vol. 2021, No. 8. - P. 930–936.

3. F.R. Kapsalamova, S.A. Krasikov. Thermodynamic Estimation of the Phase Transformations of the Fe-Ni-Cr-Cu-Si-C System // Russian Metallurgy (Metally). - Vol. 2021, No. 8. - P. 1004–1009

Статьи в изданиях, рекомендуемых ККСОН образования и науки МОН РК:

1. Ф.Р. Капсаламова, Б.К. Кенжалиев, В.Г. Миронов, Г.Т. Шилов. Распределение элементов в объеме порошка системы Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C в зависимости от времени механохимического легирования // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. - № 2 (297). - С. 64-68.

2. Kapsalamova F. Studying the Properties of a Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B Powder System after Mechanochemic alloying // Herald of the Kazakh-British Technical University. – 2017. - № 2-3 (41-42). - P. 57-63.

3. Ф. Капсаламова. Оптимизация технологических режимов атритора для получения нового наплавочного материала // Промышленность Казахстана. – 2017. - № 2 (101). - С. 43-45.

Публикации в материалах международных конференций:

1. Kapsalamova F., Kenzhaliev B., Mironov V. Wear-Resistant Coating from Composite Powder Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C obtained by Gas-Flame Surfacing / Proceeding of the II International Scientific Conference Material Science “Nonequilibrium Phase Transformations”. - 12-15 September, 2016. - Varna, Bulgaria. - P. 41-42.

2. Kapsalamova F.R., Kenzhaliyev B.K., Mironov V.G., Shilov G.T. Application of the Mechanochemical Alloying in obtaining the Powder Alloy for Gas-Flame Spraying / XX Mendeleev Congress on general and applied chemistry. Volume 2b Chemistry and technology of Materials and Nanomaterials. - 26-30 September, 2016. – Ekaterinburg. – P. 278.

3. Ф.Р. Капсаламова, Б.К. Кенжалиев, В.Г. Миронов. Фазовые превращения в порошковом сплаве Fe-Ni-Cr-Cu-Si-B-C, полученного методом механохимического легирования / Сборник трудов IV Международной научной конференции Современные проблемы физики конденсированного состояния, нанотехнологий и наноматериалов (Сарсембиновские чтения). - 10-12 октября, 2016. – Алматы. - С. 54-55.

4. F. Kapsalamova, B. Kenzhaliev, V. Mironov. Features of Structuring Iron based Coating Obtained using Gas Flame Surfacing Method / Proceeding of the 48th International October Conference on Mining and Metallurgy. - September 28 to October 01, 2016. - Bor, Serbia. - P. 85-87.

5. Капсаламова Ф.Р., Кенжалиев Б.К., Миронов В.Г., Шилов Г.Т. Получение нового порошкового сплава методом механохимического легирования для газопламенной наплавки / Тезисы докладов III Международной молодежной научной конференции Физика. Технологии. Инновации. ФТИ-2016. - 16–20 мая, 2016. – Екатеринбург: УрФУ. – С. 391-392.